

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Утверждено
научно-методическим советом университета

Кожевников Владимир Павлович

**ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**
дисциплины

**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

направление подготовки:

13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Квалификация
Магистр

Форма обучения
**очной, заочной и заочной с применением
дистанционных технологий**

Институт Энергетический

Кафедра Энергетики теплотехнологии

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента инжекции (смещения) и КПД элеватора абонентского ввода.....	6
Лабораторная работа №2. Построение пьезометрического графика давления двухтрубной водяной тепловой сети.....	11
Лабораторная работа № 3. Изменение температурных графиков теплосети в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха.....	18
Лабораторная работа №4. Определение температурного поля в грунте вокруг теплопровода, проложенного в непроходном канале.....	23
Лабораторная работа № 5. Определение температурного поля в грунте вокруг бесканального теплопровода.....	39
Лабораторная работа №6. Индивидуальное отопление и горячее водоснабжение жилого дома.....	32
Библиографический список.....	45

Введение

Тепловое хозяйство России в течение длительного периода развивается по пути концентрации тепловых нагрузок, централизации теплоснабжения и комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

Широкое развитие получила теплофикация, являющаяся наиболее рациональным методом использования топливных ресурсов для тепло- и электроснабжения.

Развитие теплофикации способствует решению многих важных народнохозяйственных и социальных проблем таких, как повышение тепловой и общей экономичности электроэнергетического производства, обеспечение экономического и качественного теплоснабжения жилищно-коммунальных и промышленных комплексов, улучшение экологической обстановки в городах и промышленных районах, снижение трудозатрат в тепловом хозяйстве.

Наряду с теплофикацией рационально используется теплоснабжение от экономичных котельных установок, а также от теплоутилизационных промышленных установок. Каждый из этих источников теплоснабжения имеет свою область экономически целесообразного применения.

Развитие теплофикации и централизованного теплоснабжения выдвигает сложные инженерные задачи, решение которых невозможно без расчета систем теплоснабжения.

В настоящей работе изложены основы расчета систем теплоснабжения и теплофикации, оборудования тепловых сетей, тепловых абонентских вводов. Освоение изложенного в данном лабораторном практикуме материала необходимо для грамотного проектирования и организации рациональной эксплуатации современных теплофикационных установок и систем.

Наряду с изложением теоретического курса, упражнениями и курсовым проектированием большое внимание уделяется лабораторным занятиям, которые не только способствуют более глубокому усвоению специальных дисциплин, но и прививают навыки к самостоятельному научному исследованию, пользованию приборами, к методам проведения измерений с определением погрешностей и т.п.

Общие указания по проведению и оформлению студентами лабораторных работ

Подготовка к выполнению лабораторной работы должна складываться из

повторения по учебникам и лекционным записям того материала, который имеет непосредственное отношение к данной работе, и тщательного изучения по лабораторному практикуму описания лабораторной установки и методики проведения исследования на стенде.

В лаборатории этот материал еще раз повторяется при непосредственном ознакомлении со стендом или установкой. Готовность студента к проведению работы проверяется руководителем, и ему или группе студентов, если эта работа не может быть выполнена индивидуально, дается разрешение на проведение ее. При этом руководитель проводит инструктаж по технике безопасности и мерах предосторожности.

Приступая к работе, студент должен зарисовать схему установки со всеми основными и необходимыми размерами, заготовить таблицы и координатные сетки для графиков, если построение их необходимо. Сборка отдельных узлов установки, если это предусмотрено работой, и присоединение измерительных приборов производятся непосредственно студентами.

Выполнив необходимые замеры, обработав даны наблюдений и проделав требуемые вычислительные операции, студент составляет отчет о работе. В отчете должен быть: описание проведения отчета, основные формулы, использованные при расчетах, схема установки, заполненные таблицы наблюдений, итоговые данные решения задачи, пояснения и выводы по полученным результатам.

Без оформления и сдачи руководителю проделанной работы студент не допускается к выполнению следующей лабораторной работы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИНЖЕКЦИИ (СМЕШЕНИЯ) И КПД ЭЛЕВАТОРА АБОНЕНТСКОГО ВВОДА

Цель лабораторной работы — экспериментальное определение коэффициента смешения водоводяного элеватора и его основных размеров по фактически установившемуся коэффициенту смешения и расходу сетевой воды G_1 , а также определение КПД элеватора.

Краткие сведения

Абонентский ввод представляет собой узел управления подсоединенной к нему отопительной системы здания и предназначен для регулирования расхода и параметров теплоносителя в зависимости от режима теплопотребления: для учета расхода тепла, для распределения теплоносителя по отдельным веткам системы отопления, для заполнения и опорожнения системы.

От правильной эксплуатации теплофикационного ввода зависит качество теплоснабжения потребителя и надежность работы местной системы отопления здания.

Вследствие ограничения по санитарным соображениям максимальной температуры воды, подаваемой в приборы отопления, наличие в подающей магистрали тепловой сети теплоносителя с температурой до 150°C требует применения смесительных устройств. Смесительное устройство, установленное на абонентском вводе, подмешивает к горячей воде, поступающей из подающей линии, охлажденную воду из обратной линии. Смешанная вода имеет более низкую температуру, чем теплоноситель в подающей линии.

В качестве смесительных устройств на абонентских вводах местных систем отопления зданий наиболее распространены струйные водоводяные элеваторы.

Схема отопительного абонентского ввода со смешением приведена на рис. 1-1.

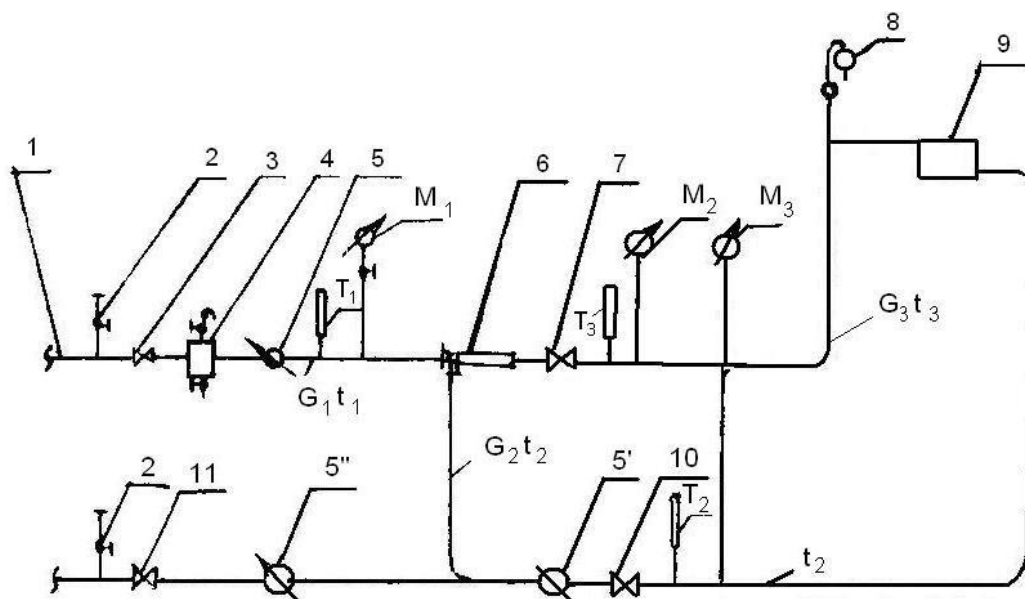


Рис. 1-1. Система отопительного абонентского ввода со смешением

Суть работы данной схемы состоит в следующем: горячая вода из теплосети (из подающей линии), проходя через элеватор (позиция 6), подсасывает охлажденную воду из обратной линии местной системы отопления. Полученная водяная смесь, имеющая необходимую температуру (до 95°C), подается в местную отопительную систему здания.

Коэффициент инжекции — это отношение расхода воды G_2 подсасываемой (инжектируемой) водоструйным элеватором, к расходу горячей воды, поступающей из подающей линии тепловой сети G_1 через сопло струйного насоса. Этот коэффициент часто называют также коэффициентом смешения,

$$u = \frac{G_2}{G_1}. \quad (1)$$

$$u = \frac{t_1 - t_3}{t_3 - t_2}. \quad (2)$$

Величину коэффициента смешения можно также определить по температурам подающей t_1 , обратной t_2 и смешанной t_3 воды,

$$u = \frac{t_1 - t_3}{t_3 - t_2}. \quad (2)$$

Описание лабораторной установки

Горячая вода из водогрейного котла повышенного давления поступает в трубопровод 1 (см. рис. 1-1), на котором установлены задвижки 3 и 11 для подключения ввода к трубопроводам водогрейного котла и регулирования подачи тепла, задвижки 7 и 10 для отключения местной системы отопления от оборудования ввода грязевика 4 на подающей трубе, тепломеры 5,5' и 5" для учета расхода горячей воды, элеватор 6 для смешивания горячей воды с обратной, термометры T_1 , T_2 и T_3 , манометры M_1 , M_2 и M_3 , патрубки 2 для установки контрольных манометров и местной системы отопления 9 (8—вентиль воздухосборника).

Методика и порядок проведения измерений

При заполнении лабораторной установки водой давление в ней контролируется манометром M_3 . Когда установка находится под давлением, необходимо спустить накопившийся воздух и перекрыть воздушный кран 8. Нужно также проверить плотность установки.

Для включения установки в работу необходимо открыть задвижки 3, 7, 10 и 11. Нужный перепад давлений местной системы устанавливают с помощью задвижек 7 и 10 и контролируют по показаниям манометров M_2 и M_3 , установленных на одном горизонтальном уровне.

После разогрева лабораторной установки и вывода ее на режим производят измерения величин давлений по показаниям манометров M_1 , M_2 и M_3 , температуры по показаниям термометров T_1 , T_2 и T_3 , снимают показания тепломеров 5,5' и 5" за определенный период времени, пользуясь секундомером. Показания тепломера 5" служат для контроля. Все результаты измерений заносят в табл. 1-1.

Обработка результатов измерений

1. По измеренным величинам температур t_1 , t_2 и t_3 определяют коэффициент смешения элеватора 6 по выражению (2).

2. По показаниям тепломера 5 определяют часовой расход теплоносителя G_1 (кг/ч), а по показаниям тепломера 5' подсчитывают расход воды, циркулирующей в установке G_3 . Разность показаний тепломеров 5' и 5 или 5" и 5' дает значение количества подсчитываемой воды элеватором G_2 . По численным значениям G_1 и G_2 определяют коэффициент смешения элеватора по выражению (1):

$$u = \frac{G_2}{G_1} \quad \text{или} \quad G_2 = G_1 \cdot u. \quad (3)$$

Сопоставление величин u по выражениям (1) и (2) должно дать близкую сходимость.

3. Пользуясь величиной фактического коэффициента смешения, можно проверить основные размеры элеватора.

Диаметр горловины элеватора (в см) определяют по выражению

$$d_r = 0,854 \sqrt{\frac{G_1^2 (1+u)^2}{h}}. \quad (4)$$

Диаметр сопла элеватора (в см) определяют по выражению

$$d_c = \frac{d_r}{1+u}. \quad (5)$$

Давление в сети перед элеватором, необходимое для нормальной его работы, находят по выражению

$$H = 1,4h(1+u)^2, \quad (6)$$

где u — коэффициент смешения, фактически полученный при проведении лабораторной работы; h — сопротивление опытной установки по данным разности показаний манометров (М2—М3), (м. вод. ст); G_1 — фактический расход горячей воды, [т/ч];

4. Коэффициент полезного действия элеватора определяют по выражению

$$\eta = \frac{G_2 h}{G_1 (H-h)} \cdot 100. \quad (7)$$

Содержание отчета

Отчет о работе должен содержать:

- Формулировку цели и задачи работы;
- Схему установки;
- Таблицу исходных данных и результатов расчетов;
- Основные расчетные формулы;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Коэффициент инжекции.
2. Коэффициент смешения.
3. Принцип работы элеватора.
4. КПД элеватора.

Таблица 1-1

Результаты измерений

[illegible]

ПОСТРОЕНИЕ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО ГРАФИКА ДАВЛЕНИЯ ДВУХТРУБНОЙ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Цель лабораторной работы – построение пьезометрического графика давления для рассматриваемого гидравлического режима работы сети.

Краткие сведения

При работе тепловой сети в отдельных точках сети и в абонентских системах создаются различные давления (напоры).

Давление P — сила, приходящаяся на единицу площади. Напор H представляет собой давление, выраженное в линейных единицах столба той жидкости, которая передается по трубопроводу.

Давление и напор связаны между собой зависимостью

$$H = \frac{P}{\gamma}. \quad (1)$$

Аналогично связаны между собой падение давления и потеря напора в сетях:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\gamma}, \quad (2)$$

где γ — удельный вес теплоносителя, н/м³.

При движении жидкости по трубопроводу происходит падение давления (напора) по длине трубопровода в результате линейных потерь и потерь в местных сопротивлениях:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}}. \quad (3)$$

Линейное падение давления $\Delta P_{\text{л}}$ представляет собой падение давления на прямолинейных участках трубопровода за счет трения, а падение давления в местных сопротивлениях $\Delta P_{\text{м}}$ это падение давления в арматуре (задвижки, краны и т. д.) и других элементах оборудования, размещенных неравномерно по

длине трубопровода (колена, шайбы, переходы и т. д.).

Линейные потери определяются по уравнению Дарси-Вейсбаха

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{W^2}{2} \rho, \quad (4)$$

где λ — коэффициент гидравлического трения; l — длина трубопровода, м; d — диаметр трубопровода, м; W — скорость движения жидкости, м/с; ρ — плотность жидкости, кг/м³.

Потери давления в местных сопротивлениях определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{м}} = \sum \xi \frac{W^2}{2} \rho, \quad (5)$$

где ξ — коэффициент местных сопротивлений, принимаемый по таблицам в зависимости от характера местных сопротивлений.

Если скорость движения жидкости выразить через ее расход, то получим

$$\Delta P = S V^2, \quad (6)$$

где S — коэффициент пропорциональности, называемый сопротивлением сети; V — расход жидкости, м³/ч.

Зная коэффициент пропорциональности S , можно определить падение давления ΔP при пропуске определенного количества жидкости.

Для изображения характера изменения располагаемого давления (напора) по сети служат пьезометрические графики. На оси абсцисс откладываются в масштабе расстояния по сети от сетевого насоса до абонента, а по оси ординат — геодезические отметки теплопровода, отметки систем потребителей и давления в этих системах.

Рис. 2-1. Схема экспериментальной установки для построения пьезометрического графика давления двухтрубной тепловой сети.

Для определения диаметра теплопровода при заданном расходе необходимо выбрать наиболее правильное и экономически оправданное удельное падение давления и принять давление в различных точках

трубопровода теплоснабжающей системы.

Правильное техническое и экономическое решение этих вопросов может быть найдено путем построения вариантов пьезометрических линий давления сети, на основании которых выбираются удельные потери давления (удовлетворяющие гидравлическому режиму работы сети), допустимые пределы падения давления по участкам трубопровода, схемы присоединения абонентских систем (вводов) и гидравлический режим работы сети.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (см. рис. 2-1) состоит из циркуляционного насоса с электродвигателем 1, замкнутой сети трубопроводов с диаметрами труб 3/4", 1/2" и 10x1 мм 6, расширительного сосуда 3 с трубкой 2, служащей для его присоединения к обратной линии сети, системы пьезометрических трубок 5, перемычек с дросселирующими устройствами 8, трубы 10 с обратным клапаном для заполнения системы водой, спускного патрубка 9, патрубков 7, 7' и 7" для присоединения расширительного сосуда в разных точках обратного трубопровода и водомера 4. На этой установке можно проводить эксперименты для различных гидравлических режимов работы путем перемещения расширительного сосуда от отметки № 1 до отметки № 3 и периодического присоединения трубки 2 к патрубкам 7, 7' и 7", а также регулированием дросселирующих устройств, на перемычках 8 (А—А, Б—Б, В—В и Д—Д). Отсчеты пьезометрических давлений, выполненных по отношению к отметке оси циркуляционного насоса, в рассматриваемом случае совпадают с отсчетами по отношению к отметке оси трубопроводов.

Методика выполнения работы

1. Система заполняется водой из водопроводной линии 10 до плоскости 1 — 1, которая выше отметки № 1 (дна расширительного сосуда) на 50 мм, при этом устанавливается статическое давление в системе.

2. Расширительный сосуд 3 трубкой 2 присоединяется к патрубку 7 обратной линии циркуляционного контура.

3. Включается циркуляционный насос 1, перекачивающий воду по циркуляционному контуру, при этом устанавливается динамический режим работы системы.

4. Пьезометрическое давление в трубопроводе определяется по показаниям пьезометрических трубок 5, установленных в узловых точках системы.

5. Производится отсчет показаний на циферблате водомера 4 за некоторый промежуток времени n мин.

6. Измеряются диаметры труб по участкам циркуляционной сети. Изменением отметки установки и места подключения расширительного сосуда, а также регулированием дросселирующего устройства на перемычках устанавливаются другие желаемые гидравлические режимы работы сети.

Данные измерений по каждому режиму заносят в табл. 2-1.

Обработка результатов измерений

1. По данным пьезометрических давлений строится пьезометрический график для рассматриваемого гидравлического режима работы сети.

2. Падение давления на участках сети определяется по показаниям пьезометрических трубок, а именно:

$$\Delta P_1 = P_1 - P_2; \Delta P_2 = P_2 - P_3; \Delta P_3 = P_3 - P_4 \text{ и т. д.}$$

3. По разности показаний пьезометрических трубок:

$$P_2 - P'_2; P_3 - P'_3; P_4 - P'_4$$

определяют давление, располагаемое у перемычек А — А; Б — Б и В — В.

4. Производительность насоса определяется по разности показаний водомера за определенный промежуток времени (в мин):

$$V = \frac{V_B \cdot 60 \cdot 1000}{n}, \quad (7)$$

где V_B — расход воды по показаниям водомера за время n , л.

5. По замеренным диаметрам труб d_B (м) определяется скорость движения воды на участках сети:

$$W = \frac{V}{0,785d_B^2 \cdot 3600}. \quad (8)$$

6. Падение давления на участках сети проверяется по формуле

$$\Delta P = 414 \frac{V^2}{d_B^{5,25}} l_{np}, \quad (9)$$

где V – часовой расход воды, л; d_B – внутренний диаметр трубы, мм; l_{np} – приведенная длина участка, м, $l_{np} = l + l_{эк}$,

$$l_{эк} = 90 \sum \xi \cdot d_B^{1,25}. \quad (10)$$

Сопоставление данных, полученных по формуле, с данными, полученными при проведении опыта, должно дать близкую их сходимость. Значительное расхождение данных свидетельствует о допущенных погрешностях при измерениях и вычислениях и необходимости проведения более тщательных измерений и вычислений.

7. Давление, развиваемое насосом и затрачиваемое на преодоление сопротивления сети, определяется по разности показаний пьезометрических трубок P_1 и P_9 :

$$H = P_1 - P_9. \quad (11)$$

Результаты обработки данных измерений сводят в табл. 2-2.

Содержание отчета

Отчет о работе должен содержать:

- Формулировку цели и задачи работы;
- Таблицу исходных данных и результатов расчетов;
- Основные расчетные формулы;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Давление и напор в тепловой сети?
2. Падение давления и потеря напора в сетях?
3. Падение давления (напора) по длине трубопровода?
4. Полный, пьезометрический, располагаемый напоры?

Таблица 2-1

Результаты измерений

[illegible]

Таблица 2-2

Результаты измерений

[illegible]

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ ТЕПЛОСЕТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Цель лабораторной работы – Изучение взаимосвязей между климатическими факторами и энергоэкономическими позволит студентам расширить знания по темам «Тепловое потребление», «Системы теплоснабжения», «Энергетическая эффективность теплофикации».

Описание установки

Схема установки приведена на рис. 3-1.

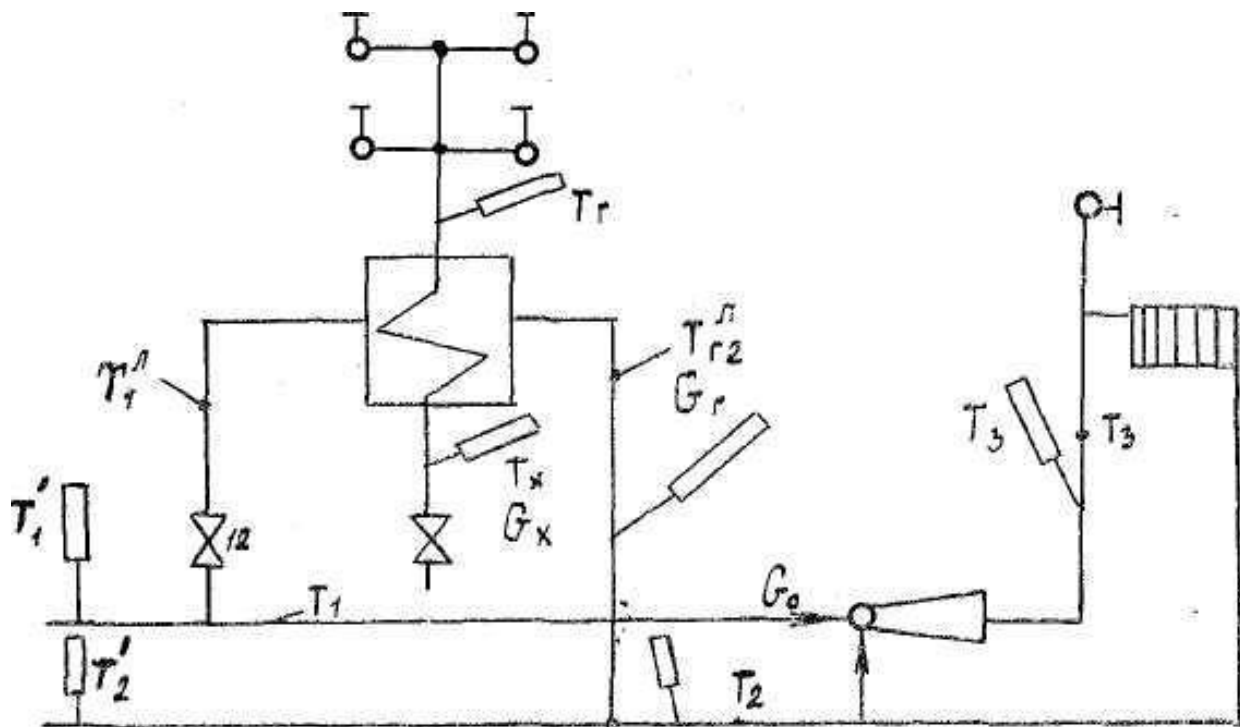


Рис. 3-1. Схема установки

Установка представляет собой абонентский ввод закрытой системы теплоснабжения с зависимым присоединением отопительной установки.

Горячее водоснабжение обеспечивается за счет подогрева холодной водопроводной воды в водо-водяном теплообменнике сетевой водой из подающей магистрали.

Методика расчета температурного графика теплотеплосети

Расчет температурных графиков систем теплоснабжения производится по

уравнениям, описывающим работу теплообменных аппаратов в нерасчетных условиях.

В качестве исходных данных задаются следующие:

$T_2 = 60^\circ\text{C}$ – расчетная температура в системе ГВС;

$T_x = 5^\circ\text{C}$ – расчетная температура холодной водопроводной воды в системе ГВС;

T_1 – температура воды в подающей магистрали в *летний* период;

$T_{2\epsilon}$ – температура воды после теплообменника ГВС в *летний* период;

T_1' – расчетная температура воды в подающей магистрали;

T_2 – расчетная температура воды после отопительных установок;

T_3 – расчетная температура воды в подающем стояке системы отопления;

$t_{\epsilon p}$ – расчетная температура воздуха в отапливаемых помещениях;

$Q_{\epsilon\epsilon}^{cp}$ – средний расходы теплоты на ГВС, кВт;

Q_o' – расчетный расход теплоты на отопление, кВт;

ρ_{cp} – средняя доля расхода теплоты на горячее водоснабжение,

$$\rho_{cp} = \frac{Q_{\epsilon\epsilon}^{cp}}{Q_o};$$

$Q_{\epsilon\epsilon}^{max}$ – максимальный расход теплоты на ГВС, кВт;

ρ_{max} – максимальная доля расхода теплоты на горячее водоснабжение,

$$\rho_{max} = \frac{Q_{\epsilon\epsilon}^{max}}{Q_o};$$

t_{no} – расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления;

Расчетные величины

Учитывая исходные данные и получив у преподавателя расчетные температуры наружного воздуха t_{no} , а также температуры сетевой воды в подающей и обратной магистралях, произвести расчет по формулам.

1. Расчетный перепад температуры воды в тепловой сети, $^\circ\text{C}$,

$$\Delta T = T_1' - T_2'.$$

2. Эквивалент расхода сетевой воды для отопительной системы, кВт/К,

$$G_o = \frac{Q_o'}{\Delta T}.$$

3. Средняя разность температур между теплообменивающими потоками в теплообменнике горячего водоснабжения, °С,

$$\Delta t_{cp} = \sqrt{(T_1^{\text{л}} - T_z) \cdot (T_{22}^{\text{л}} - T_x)}.$$

4. Параметр теплообменника горячего водоснабжения,

$$\Phi = \frac{1}{\Delta t_{cp}} \sqrt{(T_1^{\text{л}} - T_{22}^{\text{л}}) \cdot (T_z - T_x)}.$$

5. Средний расход теплоты на горячее водоснабжение, кВт,

$$Q_{\text{сб}}^{\text{cp}} = \rho_{\text{cp}} \cdot Q_o'.$$

6. Максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение, кВт,

$$Q_{\text{сб}}^{\text{max}} = \rho_{\text{max}} \cdot Q_o'.$$

7. Эквивалент расхода воды на горячее водоснабжение при средней нагрузке, кВт/К,

$$G_x^{\text{cp}} = Q_{\text{сб}}^{\text{cp}} / (T_z - T_x).$$

8. Эквивалент расхода воды на горячее водоснабжение при максимальной нагрузке, кВт/К,

$$G_x^{\text{max}} = Q_{\text{сб}}^{\text{max}} / (T_z - T_x).$$

Для определения температуры сетевой воды при различных температурах наружного воздуха необходимо задаться различными значениями относительной величины тепловой нагрузки отопления:

$$\bar{Q} = Q_o / Q_o'$$

в интервале от 0 до 1 с шагом 0,1 и рассчитать при каждом значении следующие характеристики теплосети:

а) температура воды в подающей магистрали, °С,

$$T_1 = t_{\text{сп}} + \bar{Q}_o^{0,8} \left(\frac{T_3 + T_2}{2} - t_{\text{сп}} \right) + \bar{Q}_o \left(\Delta T - \frac{T_3 - T_2}{2} \right);$$

б) температура воды после отопительной системы, °С,

$$T_2 = T_1 - \Delta T \cdot \bar{Q}_o;$$

в) эквивалент расхода сетевой воды для теплообменника горячего водоснабжения при средней его нагрузке, кВт/К,

$$G_z^{cp} = \left(1 + \frac{T_z - T_x}{T_1 - T_z} \varnothing^2\right) \frac{Q_{zв}^{cp}}{T_1 - T_x};$$

г) температура воды после теплообменника горячего водоснабжения, °С,

$$T_{z2} = T_1 - \frac{Q_{zв}^{cp}}{G_z^{cp}};$$

д) температура воды в обратной магистрали при средней нагрузке горячего водоснабжения, °С,

$$T_2^{cp} = (G_z^{cp} \cdot T_{z2} + G_0 \cdot T_2) / (G_z^{cp} + G_0);$$

е) относительный суммарный эквивалент расхода сетевой воды при средней нагрузке горячего водоснабжения

$$\overline{G^{cp}} = \frac{G_0 + G_z^{cp}}{G_0};$$

ж) эквивалент расхода сетевой воды для теплообменника горячего водоснабжения при его максимальной нагрузке, кВт/К,

$$G_z^{max} = \frac{Q_{zв}^{max}}{T_1 - T_{z2}};$$

з) температура воды в обратной магистрали при максимальной нагрузке горячего водоснабжения, °С,

$$T_2^{max} = (G_z^{max} \cdot T_{z2} + G_0 T_2) / (G_z^{max} + G_0);$$

и) относительный суммарный эквивалент расхода системой воды при максимальной нагрузке горячего водоснабжения

$$\overline{G^{max}} = \frac{G_0 + G_z^{max}}{G_0};$$

к) температура наружного воздуха, °С,

$$t_n = t_{ep} - \overline{Q}_o (t_{ep} - t_{но})$$

Анализ результатов работы

Результаты расчетов занесены в таблицу.

Таблица 3-1

**Исходные данные и результаты расчета температурных
графиков теплосети**

Условные обозначения	Единица измерения	$t_{но},$ $^{\circ}C$	Q_o					
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Построить температурные графики при различных значениях $t_{но}$, а также графики зависимостей $G_o, G_s, \overline{Q_o}$ от t_H .

Используя результаты полученных графиков, построить графики расхода G_o и температуры сетевой воды T_I от расчетной температуры наружного воздуха $t_{но}$ для заданного значения t_H . На основании полученных результатов сделать заключение о влиянии климатических факторов на затраты энергии на перекачку теплоносителя и расход топлива в системе теплоснабжения.

Содержание отчета

Отчет о работе должен содержать:

- схему установки;
- формулировку цели и задачи работы;
- таблицу исходных данных и результатов расчетов;
- основные расчетные формулы;
- температурные графики теплосети;
- графики полученных зависимостей;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Методы регулирования.
2. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов.
3. Регулирование однородной тепловой нагрузки.
4. Регулирование разнородной тепловой нагрузки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ГРУНТЕ ВОКРУГ ТЕПЛОПРОВОДА, ПРОЛОЖЕННОГО В НЕПРОХОДНОМ КАНАЛЕ

Цель лабораторной работы – определить температурное поле в грунте вокруг теплопроводов, расположенных в непроходном канале, построить термограмму по замеренным температурам в грунте и проверить полученный результат по формуле.

Краткие сведения

Весьма часто приходится определять тепловое влияние изолированных теплопроводов на расположенные в грунте электрические кабели.

При прокладке кабельной линии в грунте параллельно или перпендикулярно теплопроводу последний на участке сближения с кабельной линией должен иметь такую тепловую изоляцию, чтобы дополнительный прогрев почвы им в любое время года не превышал 10°C. Дальнейшее нагревание почвы приводит к порче изоляции электрического кабеля.

В лабораторной работе предусматривается экспериментальное определение температурного поля в грунте вокруг теплопроводов, проложенных в непроходном канале, построение термограммы по замеренным температурам в грунте и проверка полученных данных по выражению

$$t = t_0 + (t_k - t_0) \frac{\frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+a)^2}{x^2 + (y-a)^2}}}{R}, \quad (1)$$

где R – суммарное тепловое сопротивление поверхности канала, его стенки и грунта:

$$(R = R_{нк} + R_k + R_{zp}), \text{ кДж} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}).$$

Термическое сопротивление внутренней поверхности канала

$$R_{нк} = \frac{1}{\alpha \cdot r_{вк}}. \quad (2)$$

Термическое сопротивление канала

$$R_k = \frac{1}{\lambda_k} \ln \frac{r_{нк}}{r_{вк}}. \quad (3)$$

Термическое сопротивление грунта

$$R_{zp} = \frac{1}{\lambda_{zp}} \ln \frac{2a}{r_{нк}}. \quad (4)$$

В формулах (1), (2), (3), (4): a — глубина заложения горизонтальной оси теплопровода от поверхности земли, м; t — температура в любой точке грунта, удаленной на x (м) от вертикальной оси теплопровода и на y (м) от поверхности грунта, град; t_0 — естественная температура грунта на глубине горизонтальной оси теплопровода (определяется экспериментально), град; t_k — температура воздуха в канале (определяется, экспериментально), град; λ_{zp} — коэффициент теплопроводности грунта, кДж/(м·ч·град); λ_k — коэффициент теплопроводности материала, из которого построен канал, кДж/(м·ч·град); $\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности изоляционного материала, кДж/(м·ч·град); $r_{нк}$ — наружный эквивалентный, радиус канала, м; $r_{вк}$ — внутренний эквивалентный радиус канала, м; α — коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции воздуха ($\alpha = 10$ кДж/(м²·ч·град)).

Описание экспериментальной установки

Измерение температуры в грунте на различных глубинах в точках 1, 2, 3, 4 и 5 требуемого сечения производится с помощью установки (рис. 4-1), состоящей из штанги 1 с восемью термopарами расположенными через каждые 25 см по высоте, потенциометра 5, контактного переключателя 4, сосуда Дюара 7 с тающим льдом и термометра 6. Термopары имеют один общий холодный спай 3 и горячие спаи 2.

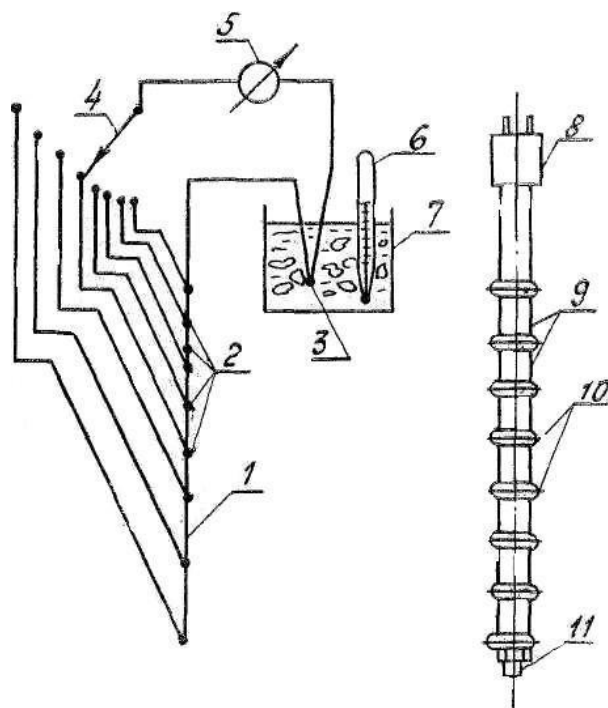


Рис. 4-1. Установка для измерения температуры грунта на различных глубинах

Штанга состоит из вертикальных стальных колец 9 и выпуклых снаружи латунных колец 10, стянутых между собой вертикальной тягой 11, кольца изнутри изолированы разрезными втулками из картона.

Стальные и латунные кольца снабжены пазом, в котором помещаются константановые провода в кембриковой изоляции.

Температуры грунта измеряются восемью медь-константановыми термопарами с одним общим холодным спаем.

Горячие спаи термопар уложены в пазы и припаяны к латунным кольцам. Медные изолированные провода термопар, помещены в пазы втулок из картона. В верхней части штанги имеется оголовок 8, к которому припаяны все концы медных проводов. Все вмонтированные термопары имеют равное сопротивление цепей, концы которых выводятся к контактному переключателю 4.

При помощи штанги замеряются температуры почвы в восьми местах по вертикали ниже поверхности земли на расстоянии 25 см друг от друга. Устанавливается штанга в заранее приготовленные отверстия в грунте нужной глубины, пробуренные электробуром и шлямбуром диаметром 20 мм.

Латунные выпуклые кольца, к которым припаяны горячие спаи термопар,

плотно соприкасаются с грунтом и через небольшой промежуток времени (8—10 мин) воспринимают температуру грунта. Температура в канале замеряется или вытяжным термометром типа ТПВ-50, или обыкновенным техническим.

Размеры канала, толщину стенок и перекрытия замеряют стальной рулеткой.

Методика и порядок производства замеров

В заранее пробуренные в грунте скважины 1, 2, 3, 4 и 5 (рис. 4-2) глубиной до 2 м поочередно погружается штанга, термопары соединяются с контактным переключателем 4, потенциометром 5 и сосудом Дюара 7 и через 8—10 мин записываются показания потенциометра (4—5 раз). Одновременно замеряется температура воздуха в канале.

Показания контрольно-измерительных приборов сводят в табл. 4-1.

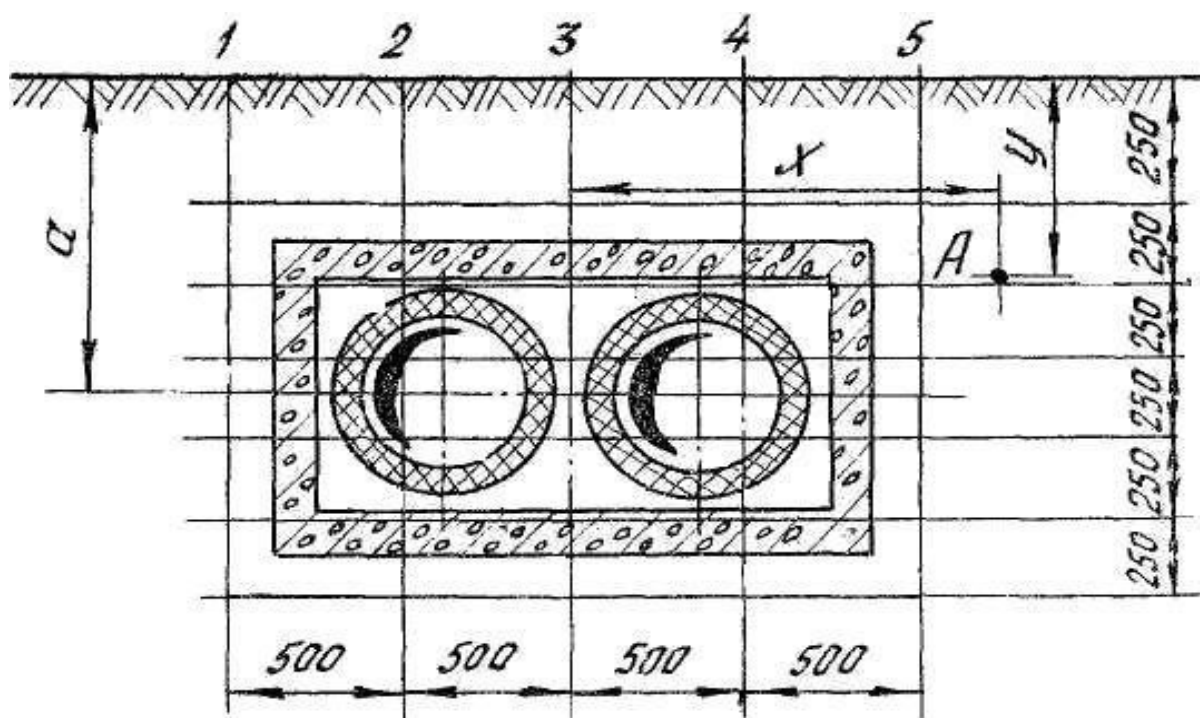


Рис. 4-2. Схема измерения температур грунта

Обработка результатов измерений

1. По замеренным величинам температур грунта на разных глубинах составляется термограмма распределения температур вокруг канала теплопроводов (поле температур) в масштабе 1:25. За основание отсчета принимается температура грунта на глубине 2 м от поверхности земли.

2. На составленной координатной сетке соответственно расстоянию между скважинами по отношению к продольной оси канала теплопроводов проставляются температуры точек согласно принятому вертикальному масштабу. Точки соединяются кривыми линиями.

3. Выбирается одна точка А с координатами x и y и проверяется температура грунта t по формулам (1), (2), (3) и (4).

4. Полученные результаты по формуле (1) сопоставляются с данными, полученными экспериментальным путем. *Таблица 4-1*

Замеренные величины

Номер скважины	$t_0, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\kappa}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$a, \text{ м}$	Размеры канала, м	Показания термопар $mv/^{\circ}\text{C}$								λ_{κ} $\frac{\kappa\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$	$\lambda_{\text{гр}}$ $\frac{\kappa\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$
					1	2	3	4	5	6	7	8		

Содержание отчета

Отчет о работе должен содержать:

- Схему установки;
- Формулировки цели и задачи работы;
- Таблицу исходных данных и результатов измерений;
- Основные расчетные формулы;
- Термограмму, построенную по замеренным температурам;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Непроходной канал для прокладки тепловой сети.
2. Штанга с термопарами для измерения температуры в грунте.
3. Формула для проверки замеренных температур в грунте.
4. После температур вокруг канала теплопроводов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ГРУНТЕ ВОКРУГ БЕСКАНАЛЬНОГО ТЕПЛОПРОВОДА

Цель лабораторной работы – экспериментально определить температурное поле в грунте вокруг бесканально проложенного теплопровода, построить теплограмму по замеренным температурам в грунте и проверить полученный результат по формуле.

Краткие сведения

В лабораторной работе предусматривается экспериментальное определение температурного поля в грунте вокруг бесканально проложенного теплопровода, построение термограммы по замеренным температурам в грунте и проверка полученных данных по выражению

$$t = t_0 + (t_n - t_0) \frac{\ln \sqrt{\frac{x^2 + (y + \sqrt{a^2 + r^2})}{x^2 + (y - \sqrt{a^2 + r^2})}}}{\ln \frac{a + \sqrt{a^2 + r^2}}{r}}, \quad (1)$$

где t – температура грунта в рассматриваемой точке А (рис. 5- 1), град;

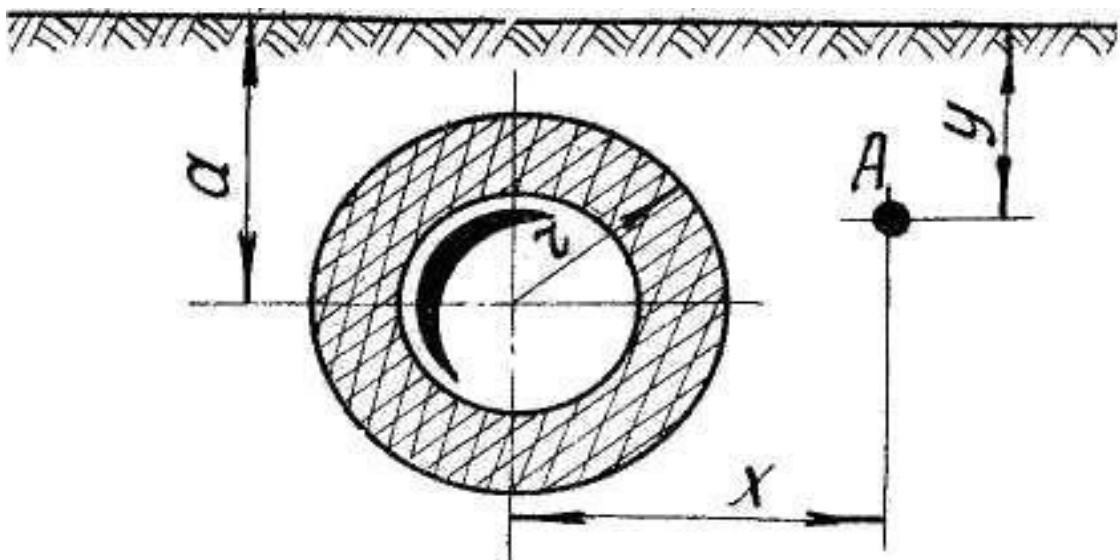


Рис. 5-1. Сечение бесканального теплопровода

t_0 – естественная, т. е. не связанная с тепловым воздействием теплопровода, температура на глубине заложения горизонтальной оси теплопровода; t_n – температура, поверхности изоляции теплопровода, град; r – радиус наружной поверхности изоляции теплопровода, град; a – глубина заложения горизонтальной оси теплопровода от поверхности грунта, м.

Описание экспериментальной установки, методика и порядок производства замеров даны в предыдущей работе.

Обработка результатов измерений

1. По замеренным величинам температур в почте на разных глубинах составляется график распределения их вокруг теплопровода (поле температур) в масштабе 1:25. За основание отсчета принимается температура почвы на глубине горизонтальной оси теплопровода t_0 .

2. На составленной координатной сетке проставляются температуры точек, которые соединяются кривыми, соответственно принятому вертикальному масштабу.

3. Выбирается одна точка А с координатами x и y и проверяется температура грунта t по формуле (1).

Полученные результаты по формуле (1) сопоставляются с данными, полученными экспериментальным путем.

Содержание отчета

Отчет о работе должен содержать:

- Формулировку цели и задачи работы;
- Схему установки;
- Таблицу исходных данных и результатов измерений;
- Основные расчетные формулы;

- График определения температур вокруг бесканально проложенного теплопровода;
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Бесканальный способ прокладки теплопроводов.
2. Формула для проверки замеренных температур в грунте при бесканальной прокладке.
3. График распределения температур в почве вокруг теплопровода.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОГО ДОМА

Цель лабораторной работы — знакомство со схемой системы отопления и горячего водоснабжения жилого дома; получение практических навыков проведения теплотехнических испытаний бытового котла; знакомство с работой автоматики регулирования и безопасности бытового котла.

Описание работы

Для отопления и горячего водоснабжения индивидуальных домов в настоящее время широко применяются бытовые котлы, работающие на твердом, жидком и газообразном топливе, а также на электроэнергии.

Общая тепловая мощность котла не превышает 30 кВт. Котел устанавливается у потребителя и является элементом отопительной системы дома. Схема системы отопления представлена на рис. 6-1. Система отопления замкнутая. Циркуляция воды в системе осуществляется за счет гравитационных сил: более горячая вода поднимается вверх, более холодная опускается вниз.

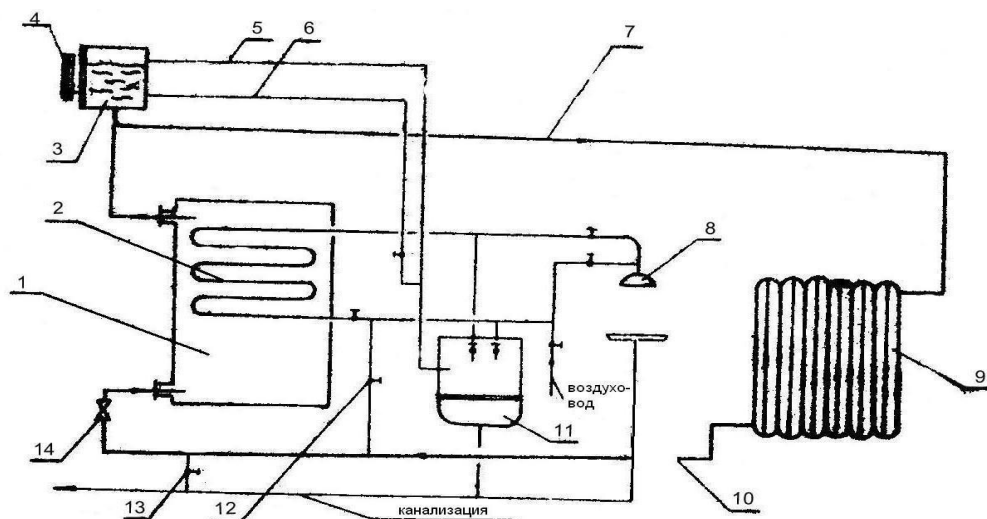


Рис. 6-1. Схема отопления и горячего водоснабжения жилого дома: 1— котел; 2—теплообменник горячего водоснабжения; 3—расширительный бак; 4—уровень; 5—переливная линия; 6— контрольный трубопровод; 7—прямой

трубопровод; 8—душ; 9—радиатор; 10—обратный трубопровод.

Вода системы отопления нагревается в котле 1 и отдает свое тепло радиатору 9 и теплообменнику горячего водоснабжения 2. Теплообменник горячего водоснабжения может быть встроен в водяной объем котла или находиться за его пределами (выносной теплообменник). Для возможности свободного расширения воды при ее нагреве в верхней части отопительной системы устанавливается расширительный бак 3, в котором также находится некоторый запас воды. Через трубопровод 5 осуществляется слив воды при перезаполнении системы. Теплопровод 6 позволяет контролировать наличие воды в расширительном баке. Для этого служит уровень 4. Слив и заполнение системы водой осуществляется кранами 12, 13. Кран 14, установленный на обратной линии, позволяет отключить систему отопления на летний период. При этом система работает только на горячее водоснабжение за счет совместной работы котла и теплообменника горячего водоснабжения 2. Распределительные трубопроводы прямой и обратной воды 7, 10 выполняются с небольшим уклоном для возможности беспрепятственного удаления воздуха при заполнении системы водой.

Газовый отопительный котел (рис. 6-2) состоит из топочной камеры 2, горелочного устройства 11, водяного объема 3 и конвективной поверхности 4. В водяном объеме котла установлены теплообменник горячего водоснабжения 10 и регулятор температуры

Конвективная поверхность необходима для повышения КПД котла. По дымовому тракту также установлены датчики тяги 7 и прерыватель тяги 6. Прерыватель тяги представляет собой канал, связывающий дымоход за котлом с объемом помещения, по которому поступает воздух из помещения.

При изменении разрежения в газоходе происходит изменение количества воздуха, подсасываемого в газоход через тягопрерыватель, чем несколько стабилизируется разрежение в газо- ходе котла.

Продукты сгорания, полученные от сжигания газа в объеме топки, отдают

свое тепло стенкам топки и конвективной поверхности котла. Отработавшие продукты сгорания отводятся в газоход. КПД бытовых котлов не превышает 85%. Вода из системы отопления подводится в водяной объем котла через нижний патрубок 1, а отводится через верхний патрубок 5. Теплообменник горячего водоснабжения располагается в верхней части водяного объема котла. Это позволяет обеспечивать внутреннюю циркуляцию в объеме котла при отключении отопления, а также располагать теплообменник в самой горячей воде котла.

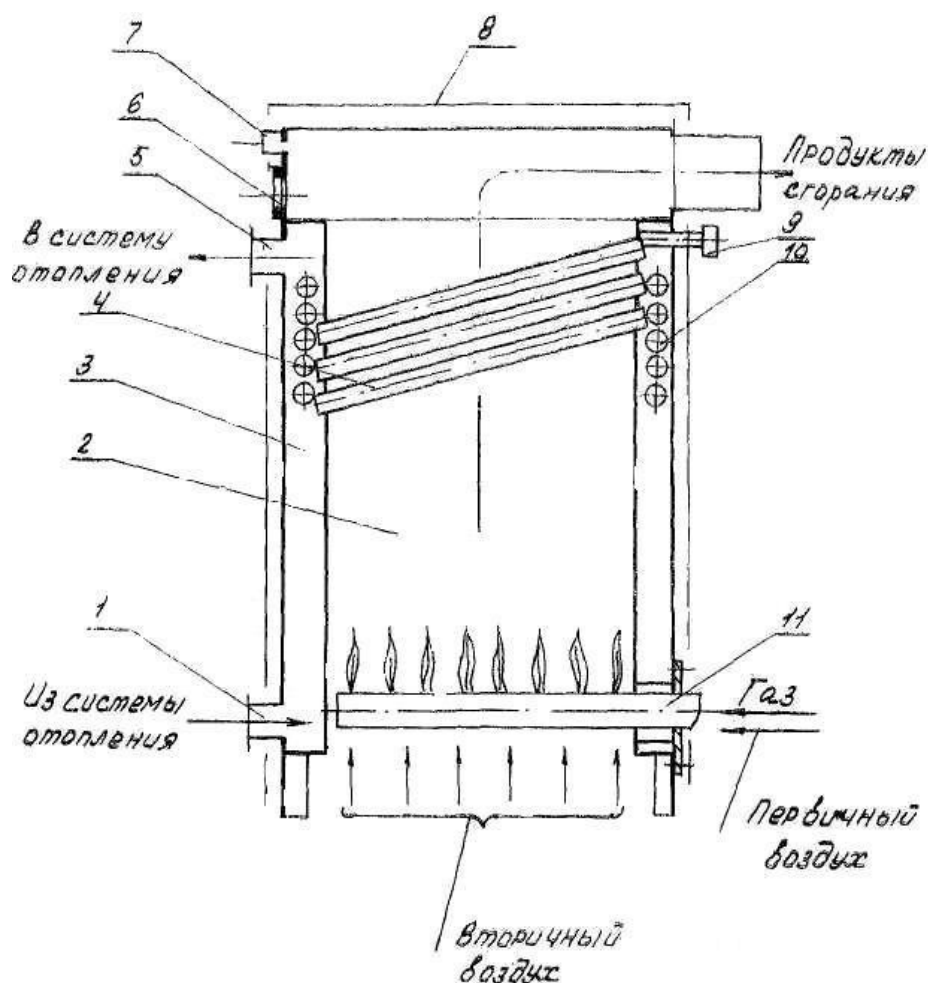


Рис. 6-2. Газовый бытовой котел:

- 1; 5 — подводящий и отводящий патрубки; 2 — топочный объем; 3 — водяной объем;
 4 — конвективная поверхность; 6 — тягопрерыватель; 7 — датчик тяги; 8 — облицовка;
 9 — регулятор температуры;
 10 — теплообменник горячего водоснабжения; 11 — горелка.

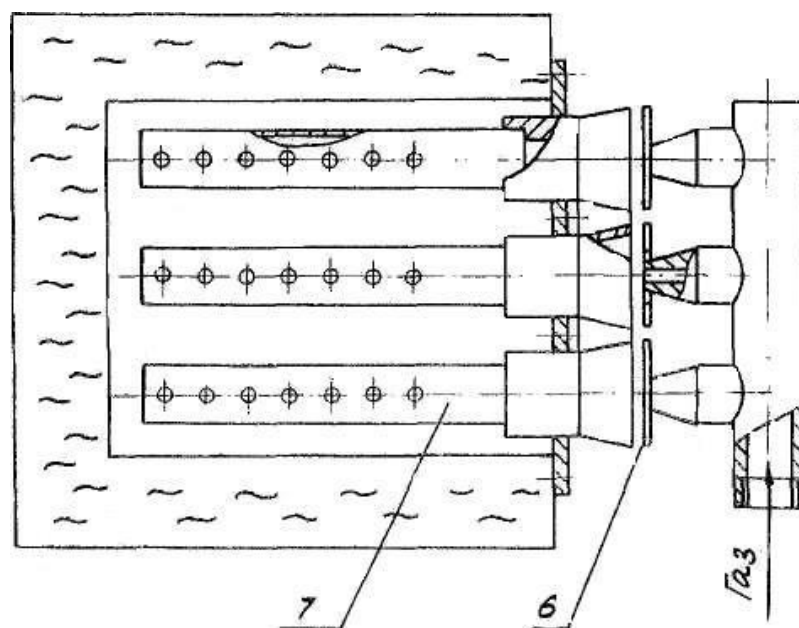
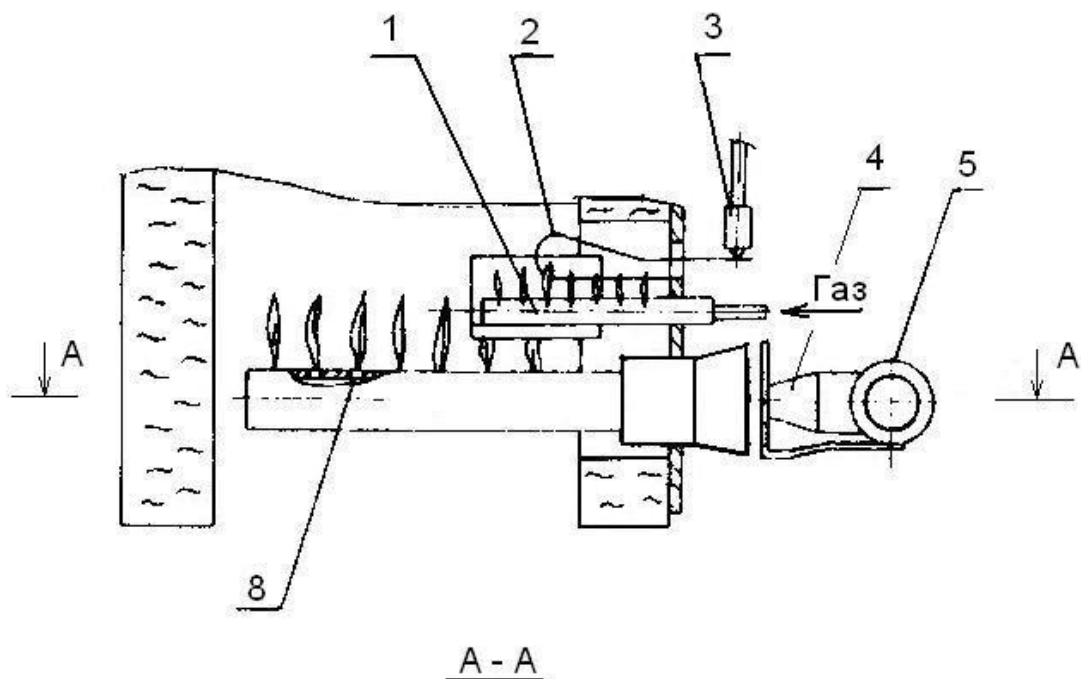


Рис. 6-3. Горелочный блок:

1—запальник; 2—биметаллическая пластина; 3—датчик наличия пламени;
4—сопло; 5—коллектор; 6—заслонка; 7—дырчатая труба; 8—отверстие.

Горелка котла (рис. 6-3) — горелка атмосферного типа. Газ низкого давления подается в распределительный коллектор 5 и истекает через сопла 4. Струи газа инжектируют первичный воздух, и в дырчатые трубы 7 попадает газовоздушная смесь с коэффициентом расхода воздуха $\alpha = 0,25 \div 0,45$.

Расход первичного воздуха можно регулировать, изменяя положение воздушных заслонок 6. Горение газа начинается на выходе из отверстия 8 и заканчивается до конвективной поверхности котла, чтобы исключить химический недожог топлива. Вторичный воздух попадает в топку котла через от-крытые проемы за счет разрежения в объеме котла. Расход вторичного воздуха регулируется, как правило, жалюзийными решетками или изменением разрежения. Суммарный коэффициент расхода воздуха котла составляет $1,3 \div 4,8$. Регулирование расхода газа на горелку – двухпозиционное – максимум ÷ ноль в зависимости от температуры воды на выходе из котла. Розжиг горелки при ее включении обеспечивается за счет постоянно действующего запальника 1. Контроль пламени запальника осуществляется датчиком контроля пламени 3 совместно с чувствительным элементом 2.

Описание автоматики регулирования и безопасности котла

Схема автоматики бытового котла (рис. 6-4) предназначена для поддержания постоянной температуры воды на выходе из котла, а также отключения подачи газа на горелку котла и запальник при погасании запальника и снижении тяги в газоходе. Погасание газа может привести к взрыву, а снижение тяги — к попаданию продуктов сгорания в объем помещения и отравлению людей. Регулятор температуры 3 включает или отключает подачу газа на горелку 9 в зависимости от температуры в водяном объеме котла 10. Расход газа на запальник 8 постоянный и регулировке не подлежит. При нормальной работе котла в линии безопасности котла 5 поддерживается некоторое давление.

При аварийной ситуации, (погасание факела или пропадание тяги) через датчики 2, 6 сбрасывается давление газа из трубопровода безопасности 5, а, следовательно, и из объема полости предохранительного клапана 4, что приводит к его закрытию и прекращению подачи газа на запальник и горелку.

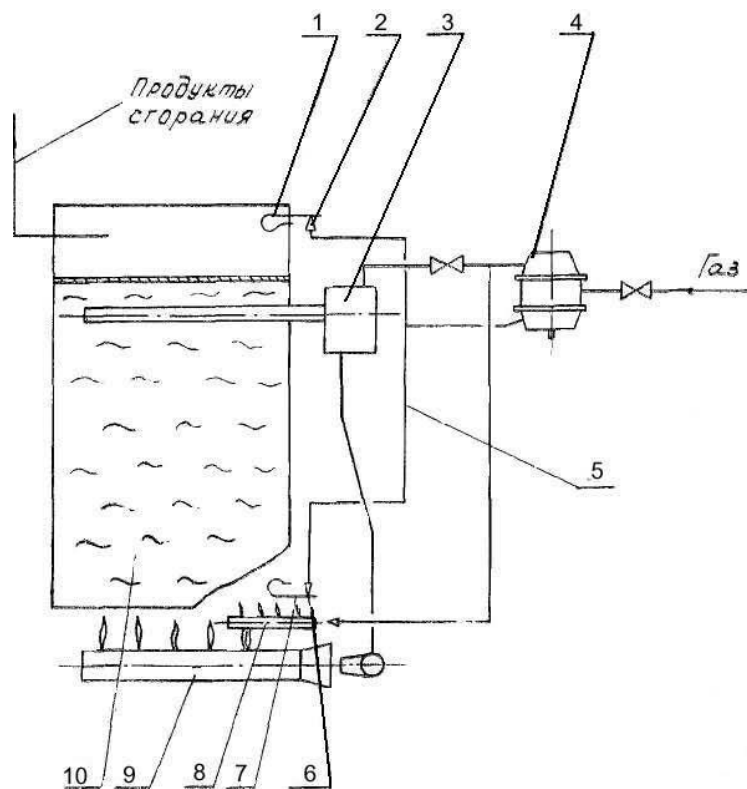


Рис. 6-4. Автоматика бытового котла:

1, 7—чувствительный элемент; 2—датчик тяги; 3—регулятор температуры; 4—предохранительный клапан; 5—трубопровод безопасности; 6—датчик наличия пламени; 8—запальник; 9—горелка; 10—водяной объем котла.

Регулятор температуры (рис. 6-5) состоит из двух стержней — полого 2 и вставленного в него 3, выполненных из материалов, имеющих разные коэффициенты линейного расширения. Внутренний стержень соединен с внешним посредством резьбовой втулки 1. При росте температуры стержень 2 удлиняется больше, чем стержень 3 и начинает вытягивать его из газовой коробки регулятора. Коромысло 4 перемещается за стержнем 1 и освобождает подпружиненный клапан 5, который садится на седло и прекращает подачу газа. При сжижении температуры воды стержень 3 толкает коромысло в обратную сторону, что приводит к отходу клапана от седла и пуску газа на горелку. На стержне 1 установлен рычаг 6, позволяющий вкручивать или выкручивать стержень 3 во втулку 1, что приводит ко взаимному перемещению стержней и перенастройке регулятора температуры. Регулятор может быть настроен на поддержание температуры воды $50+90^{\circ}\text{C}$.

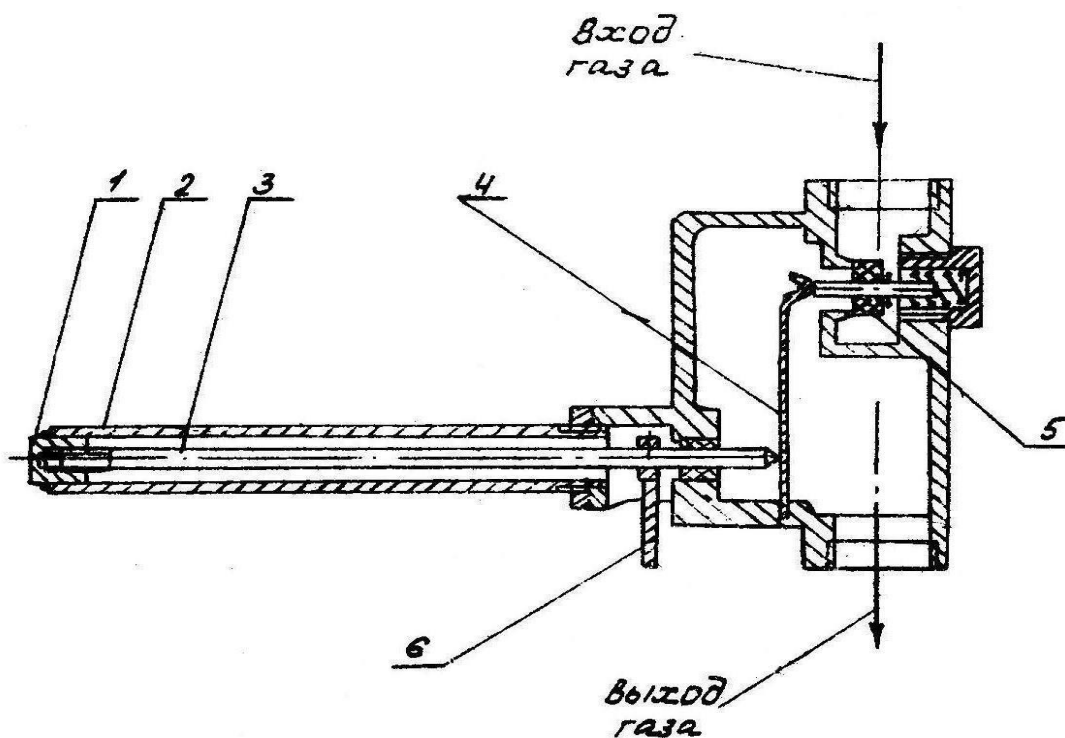


Рис. 6-5. Регулятор температуры:
1—втулка; 2, 3—стержни; 4—коромысло; 5—клапан;
6—рычаг регулировочный

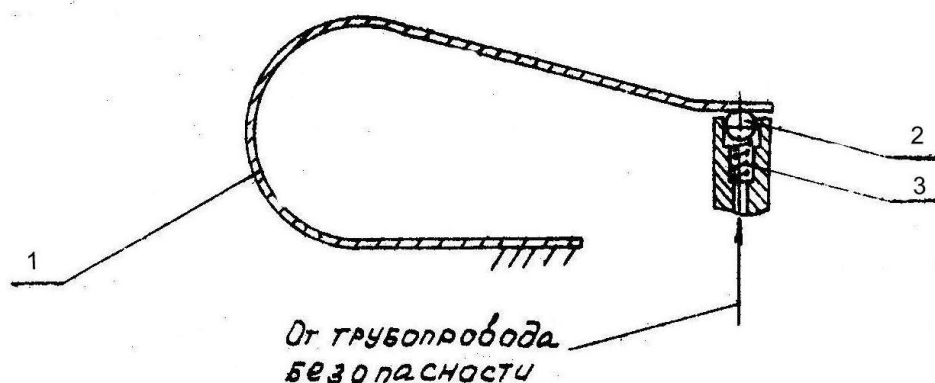


Рис. 6-6. Датчик тяги:
1 — чувствительный элемент; 2 — клапан; 3 — пружина

Датчик безопасности (рис. 6-6) состоит из загнутой биметаллической пластины 1, которая при нагревании разгибается и освобождает сбросной клапан 2 датчика тяги или же запирает клапан датчика контроля пламени. В датчике наличия пламени пластина нагревается за счет пламени запальника, а в датчике тяги — за счет температуры продуктов сгорания, выбивающихся из газохода котла в помещение.

Предохранительный клапан (рис. 6-7) состоит из малой 4 и большой 10 мембран, трех рабочих полостей 6, 7, 8, клапана 2, импульсной линии 1. Газ подводится в рабочую полость 6 и своим давлением, посредством мембраны 4 плотно закрывает клапан 2.

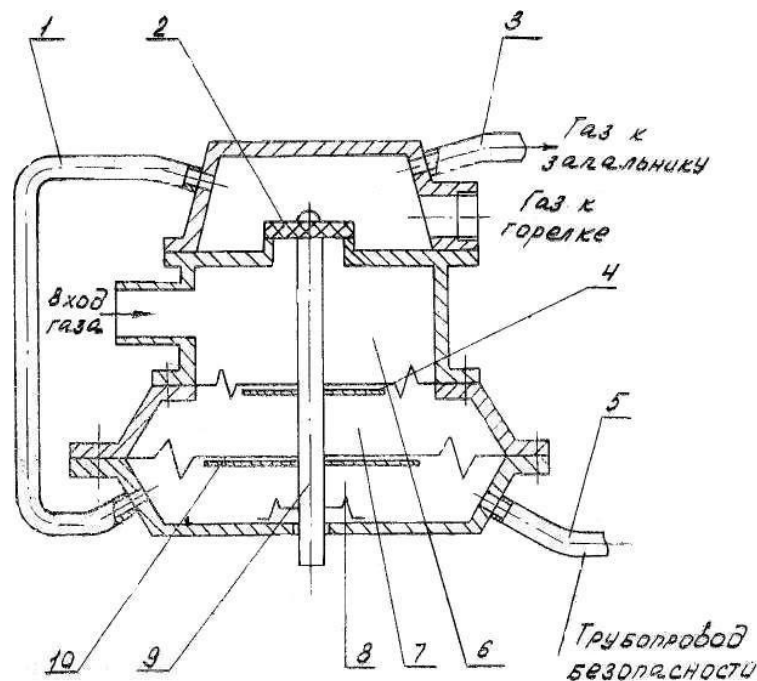


Рис. 6-7. Клапан безопасности:

1—импульсная линия; 2—клапан; 3—линия запальника; 4, 10— малая и большая мембраны; 5—трубопровод безопасности; 6,7,8—рабочие полости; 9—шток.

Для первоначального пуска газа на запальник (кран перед горелкой закрыт) необходимо нажать на выступающий конец штока 9 и оторвать клапан 2 от седла. Газ поступит в верхнюю полость клапана безопасности, и давление газа по импульсной линии 1 передается в полость 8. Давления в полостях 6 и 8 сравниваются. За счет большей площади мембраны 10 шток вместе с клапаном поднимутся, и клапан будет находиться во взведенном состоянии. При аварийной ситуации — погасании запальника, прекращении тяги, датчики сбрасывают давление газа из трубопровода безопасности 5, что приводит к снижению давления в полости 8, а следовательно, и к закрытию клапана 2.

При розжиге запальника датчик контроля пламени сбрасывает давление газа из трубопровода безопасности, пока не прогреется

биметаллическая пластина. Поэтому до ее прогрева (15—30 с) необходимо нажимать на конец штока клапана безопасности.

Порядок проведения испытания бытового котла

Целью испытаний является определение теплотехнических показателей котла, а также проверка работы автоматики регулирования и безопасности.

Стенд испытательный предназначен для теплотехнических испытаний газовых котлов для отопления и горячего водоснабжения.

Стенд испытательный состоит (рис. 6-8) из водяной емкости 1, погружного газового нагревателя 2; водяных расходомерных шайб 3, 8; накопительной емкости 4; весов 5; термометров 6, 11, 19, 21; испытуемого котла 7, кранов 9, 22; жидкостных манометров 10, 20; микроманометра 12; устройства для отбора продуктов сгорания 13; вытяжного вентилятора 14; заслонки 15; регулятора давления газа 17; ротаметра 18; переливной трубы 23; напорного бака 24; циркуляционного насоса 25.

Необходимая для испытаний температура воды, подаваемой в котел, создается за счет предварительного нагрева воды в емкости 1 погружным газовым нагревателем 2. Из емкости 1 насосом 25 нагретая вода подается в напорный бак 15. В напорном баке уровень воды поддерживается постоянным за счет переливной трубы 23. Из напорного бака вода подается в котел, а затем нагретая вода снова попадает в емкость 1, т. е. создается движение воды по замкнутому контуру. Необходимый расход воды через котел устанавливается краном 22 по перепаду давления на водяной шайбе 3, измеряемом жидкостным манометром 20. Точный расход воды через котел определяется весовым методом. Температура воды до после котла измеряется термометрами 6, 21.

Для испытания котла при работе его на горячее водоснабжение используется водопроводная вода. При этом необходимый расход воды устанавливается краном 9 по расходе мерной шайбе 8. Точный расход воды на горячее водоснабжение определяется весовым методом. Температура воды до после котла измеряется термометрами 11, 21.

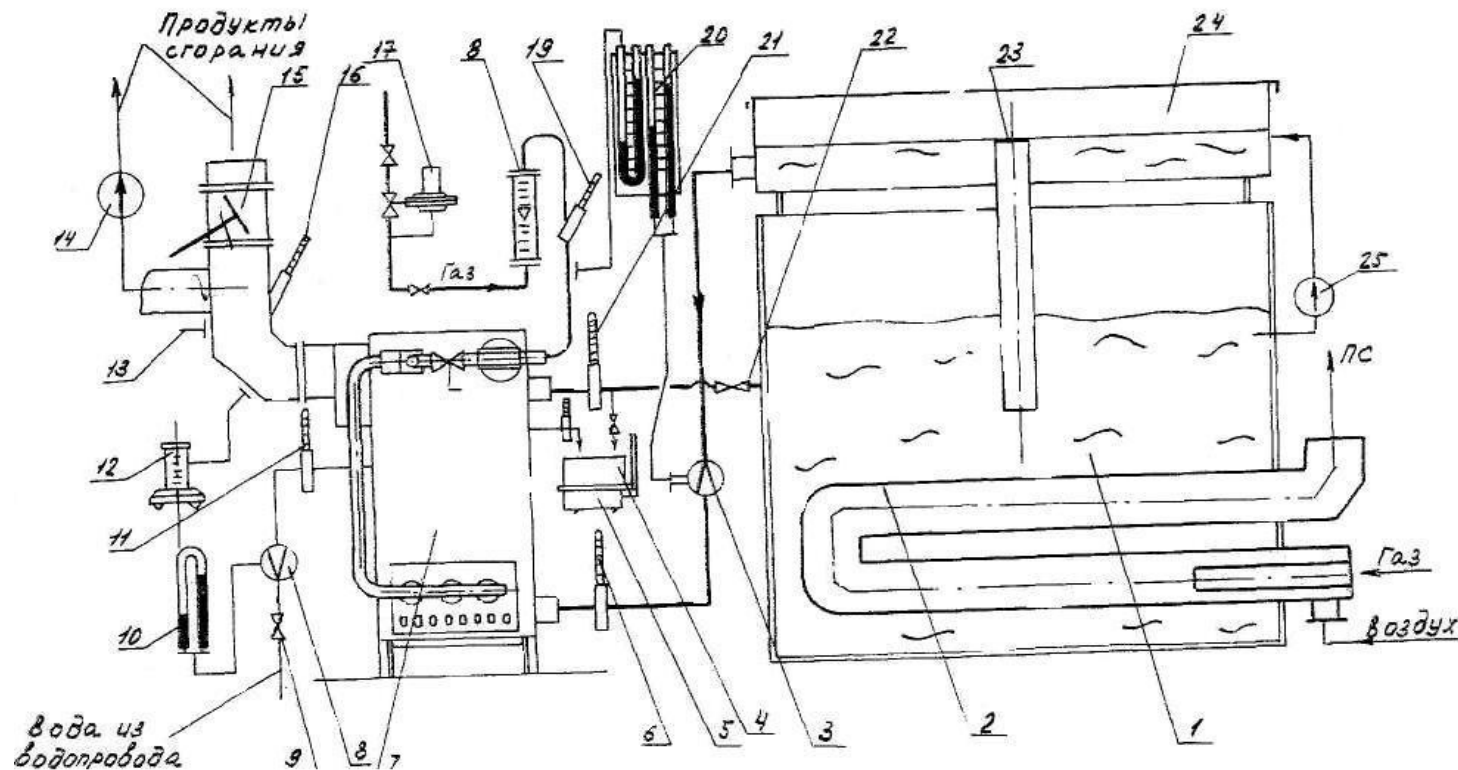


Рис. 6-8. Испытательный стенд:

1 – водяная емкость; 2 – погружной газовый нагреватель; 3, 8 – водяные расходомерные шайбы; 4 – накопительная емкость;
 5 – весы; 6, 11, 19, 21 – термометры; 7 – испытуемый котел; 9, 22 – краны; 10, 20 – жидкостный манометр; 12 – микроманометр; 13 –
 устройство для отбора продуктов сгорания; 14 – вытяжной вентилятор; 15 – заслонка; 17 – регулятор давления газа; 18 – ротаметр;
 23 – переливная труба; 24 – напорный бак;
 25 – циркуляционный насос

Расход газа на котел определяется по показанию рота метра 18 с учетом температуры и давления газа. Давление газа перед горелкой измеряется жидкостным манометром.

Температура продуктов сгорания определяется термометром 16. Рабочее разрежение в дымоходе за котлом измеряется микроманометром 12 и устанавливается заслонкой 15. Максимальное необходимое разрежение в газоходе обеспечивается кратковременным включением вытяжного вентилятора 14 при закрытой заслонке 15. Отбор продуктов сгорания на анализ осуществляется через устройство 13. Состав продуктов сгорания в газоходе определяется газоанализатором ГХП 3. Измерения проводятся по достижении стационарных условий работы котла: и давление газа перед горелкой ~ 130 мм вод. ст. (1,28 кПа), разрежение в газоходе ~ 0,3 мм вод. ст. (2,9 Па), температура воды перед котлом ~ 55—65°C и перепад температуры воды на котле ~ 20°C.

При проверке работы автоматики котла определяете температура воды на выходе из котла, при которой отключается подача газа на горелку, а также время отключения газ, на котел при аварийной ситуации — погасание запальника: нарушение тяги. Результаты измерений вносятся в табл. 6-1.

Таблица 6-1.

Результаты измерений

Наименование измеряемого параметра	Ед. измер.	Значение
ГАЗ		
Давление перед горелкой	мм вод. ст.	
Показание ротаметра	ед. шкалы	
Температура	°C	
ВОДА		
Перепад давления на расходомерной шайбе	мм вод. ст.	
Температура воды:	°C	
до котла		
после котла		

ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ		
Состав	%	
CO ₂		
CO ₂ +O ₂		
Температура	°C	
Разрежение	мм вод. ст.	
АВТОМАТИКА		
Температура отключения горелки	°C	
Время отключения газа при аварийной ситуации:	с	
погасание запальника		
пропадание тяги		

Расчет основных показателей работы котла

Под основными показателями работы котла имеются в виду КПД котла и полезная тепловая мощность.

1. КПД котла:

По прямому балансу:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_{затр}} \cdot 100 = \frac{G_v (i_v'' - i_v')}{V_z \cdot Q_n^p} \cdot 100,$$

где $Q_{пол}$ – полезное тепло, т. е. тепло, воспринятое водой в котле, кДж/ч;

$Q_{затр}$ – затраченное тепло, т.е. тепло, выделившееся в котле при сжигании газа, кДж/ч;

G_v – расход воды через котел, кг/ч,

$$G_v = 38,33 \cdot \sqrt{\Delta P_{ш}}$$

(здесь $\Delta P_{ш}$ - перепад давления на водяной шайбе, мм вод. ст.);

$i_v''; i_v'$ - энтальпия воды на входе и выходе котла, кДж/кг, определяется по таблице 2;

V_r – расход газа, м³/ч,

$V_r=1,903+0,0519 (H-20)$

(здесь H – показание ротаметра, ед. шкалы);

Q_n^P - теплота сгорания газа, кДж/м³, $Q_n^P = 35500$.

По обратному балансу:

$$\eta = 100 - q_2 - q_5,$$

где q_2 – доля тепла, теряемая с уходящими газами, %,

$$q_2 = \frac{i_{nc} + (\alpha - 1) \cdot i_{возд}}{Q_n^P} \cdot 100$$

(здесь $i_{nc}; i_{возд}$ - энтальпия продуктов сгорания и воздуха при температуре уходящих газов, кДж/м³, определяется по табл. 2; α - коэффициент расхода воздуха, определяется по азотной формуле по результатам химического анализа продуктов сгорания,

$$\alpha = \frac{100 - CO_2 - O_2}{100 - CO_2 - 4,76O_2};$$

q_5 – доля тепла, теряемая теплопроводностью через стенку котла,

$$q_5 = \frac{3,6 \cdot \alpha_{cm} \cdot F_{cm} \cdot (\bar{t}_e - t_{возд})}{V}$$

(здесь F_{cm} – общая поверхность котла, $F_{cm}=2(a+b)h+2ab$; a, b, h – геометрические размеры котла, м; α_{cm} - коэффициент теплоотдачи, Вт/м², $\alpha_{cm}=13$; $\bar{t}_e$ - средняя температура воды в котле, °С; $t_{возд}$ – температура воздуха в помещении, °С).

2. Полезная тепловая мощность, кВт:

$$N_{пол} = \frac{Q_{пол}}{3600}.$$

Контрольные вопросы

1. Назначение автоматики бытового котла.
2. Основные задачи испытаний бытового котла.
3. В чем разница между КПД по прямому и обратному балансу?
4. Каким образом и за счет чего осуществляется циркуляция воды в системе отопления?

Библиографический список

1. *Васильев В.Ф., Иванова Ю.В., Суханова И.И.* Отопление и вентиляция жилого здания: Учебное пособие. - Спб.: СПбГАСУ, 2010. - 72 с.
2. Лабораторный практикум по тепловым процессам: Учебное пособие/ Е.П. Барулин [и др.]; Иван. гос. хим.- технол. ун-т. - Иваново, 2009, 65с.
3. *И. Тиатор.* Отопительные системы. Техносфера, Евроклимат, 2006, 272 с.
4. *В.И. Манюк и др.* Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. – М.: Либроком, 2009.
5. *Соколов Е.Я.* Теплофикация и тепловые сети. М.: Энергия, 2001.
6. Индивидуальное отопление и горячее водоснабжение жилого дома: метод. указ. к лабораторной работе/составитель Л.Г. Шульц. – Самара: СамГТУ, 2006. – 15 с.